

Mesdames, messieurs, bonjour !

Je suis chargé, au sein de la Délégation Générale pour l'Armement et plus particulièrement de la direction des systèmes de force et de la prospective, des études amont en génie électrique. Alors pourquoi j'ai tenu à répondre à nouveau favorablement à l'invitation de Monsieur ALAIN JULLIEN de participer à DECIELEC 2004, que je remercie par ailleurs pour cette initiative ? Tout simplement comme vient de le rappeler Monsieur JULLIEN, parce qu' une grande société comme ALSTOM, et le laboratoire PEARL auquel il est fortement impliqué ont montré par leurs travaux et leurs réalisations que l'électrotechnique est en permanente évolution. L'électrotechnique de 1900 a fait place au génie électrique, domaine plus vaste dans lequel l'électronique de puissance joue un rôle important et qui a fortement contribué à cette évolution.

Certes, il y a les matériaux, il y a l'électrochimie, mais il y a surtout l'association de l'actionneur, c'est à dire de la machine, avec son dispositif de commande et de pilotage, c'est à dire l'électronique de puissance. Alors quand on fait le constat de ce mariage entre l'actionneur d'une part, l'électronique de puissance d'autre part, et maintenant de la source d'énergie, on va évoquer le terme plus générique de **génie électrique**.

Un petit rappel : Il y a encore une vingtaine d'années l'énergie électrique, c'est à dire l'utilisation rationnelle de l'électricité, était directement liée à la centrale électrique, à son transport et sa distribution par des câbles et à son emploi dans le tertiaire comme dans l'industrie par une « prise de courant ». Ceci était le principe même de l'utilisation de l'électricité. A présent, si on s'intéresse aux vecteurs, dont le principal est bien sûr l'automobile, on s'aperçoit que dès son origine il y a eu nécessité de dissocier l'énergie embarquée de l'énergie de la « prise de courant ». A son départ le moteur thermique était associé à une simple dynamo, avec tous les problèmes que vous avez dus connaître, et qui ne permettait que l'éclairage du véhicule. En fait, et je défie quiconque qui, dans le domaine de l'industrie, pourrait trouver un équivalent au niveau de l'évolution des performances des machines électriques.

On associe la naissance de l'électrotechnique à celle de la dynamo de ZENOBE GRAMME en 1870, mais en réalité, la génération et la distribution de l'énergie électrique s'est développée à partir de 1900. Quant on regarde un siècle en arrière on s'aperçoit que la puissance d'un alternateur a été multipliée par 1600 pour un volume identique. C'est à dire que si vous prenez le volume d'un alternateur d'un mégawatt en 1900 et que vous prenez le même volume aujourd'hui, vous vous apercevez que vous disposez de 1650 mégawatts. Je ne connais pas beaucoup de domaine industriel, comme je le disais tout à l'heure, qui aient eu une telle progression en un siècle.

60 ans : 1940 – 2000 : les besoins tertiaires évoluent également. Un appartement parisien, en 1940, se contentait de 1 kW. Aujourd'hui, 20 kW sont fréquents et c'est la moyenne au niveau des appartements parisiens. Je pense qu'à Tarbes, on doit avoir à peu près la même évolution.

1960 – 2000, c'est à dire en 40 ans, on s'intéresse alors au vecteur et à l'énergie embarquée. les besoins en énergie sont alors multipliés par 12 . Exemple : un avion de chasse de 1960 avait comme puissance primaire à bord 10 kW. Les avions de chasse du futur c'est 120 kW. Je ne parle pas de l'Airbus A380, qui vous le savez, va disposer de 600kW de puissance. Donc évolution fulgurante au niveau de l'énergie primaire, au niveau des besoins terrestres, mais surtout au niveau des besoins **vecteurs**.

Cette évolution, je l'ai dit, est liée aux besoins, à l'évolution des concepts, mais j'ai surtout pour moi, à 3 critères :

- la sélectivité
- l'indépendance ou l'autonomie
- l'électrification des organes

L'évolution, d'abord avec la **sélectivité**, vous la connaissez; ce sont les compteurs EDF qui permettent de faire une sélection entre le jour et la nuit, et donc de GERER l'énergie (c'est le terme le plus important de ces journées DECIELEC) .

Evolution encore avec une certaine **indépendance ou autonomie**. Le temps du « fil à la patte » des équipements de chantier est fini, l'électroportatif permet maintenant de pouvoir se déplacer sans la contrainte du fil à traîner et de faire ainsi le trou dans son mur où l'on veut. Enfin, évolution liée aux organes : l'ancienne dynamo est devenue alternateur, et à présent alerno-démarreur, favorisant ainsi **une électrification des organes** qui sont de plus en plus nombreux pour le confort et la sécurité des passagers.

Donc évolution suivant 3 critères. Mais cette évolution est particulièrement sensible dans les vecteurs, qu'ils soient civils ou militaires, dans le sens où on retrouve une certaine dualité entre un vecteur civil et un vecteur militaire. Mais je reviens sur le besoin de GERER l'énergie :

A-t-on besoin de la pleine énergie au moment du décollage d'un aéronef pour faire rentrer son train d'atterrissage ? Réponse : NON parce qu'en principe, on ne sort pas le train quand on est en vol.

A-t-on besoin d'une énergie permanente sur les vecteurs ? Réponse : NON

C'est cette réponse qui a conduit à une réflexion extrêmement simple ou simplette et à la théorie des 3 E. C'est à dire que sur un vecteur, on va, non plus gérer une énergie globale primaire, mais une somme d'énergies que je décompose en énergie permanente, énergie transitoire et énergie impulsionnelle.

## **La théorie des « 3 E » est née**

Pour exemple : l'énergie de bord d'un vecteur c'est son énergie permanente. C'est en général un alternateur. Pour des chars ou même des navires, le mode furtif ou le mode secours implique non plus de disposer d'une énergie permanente c'est-à-dire des dizaines de kilowatts ou de mégawatts, mais d'une énergie transitoire qui peut être alors fournie soit par des accumulateurs, soit si on regarde un peu plus vers l'avenir, par des piles à combustible. Enfin, pour l'exemple considéré, il y a en plus ce que l'on appelle l'énergie d'armement, c'est à dire l'énergie nécessaire aux systèmes d'armes proprement dits.

Là aussi, comme le train d'atterrissage de tout à l'heure, on ne tire pas en permanence. A ce moment là, cette énergie d'armement est "impulsionnelle". Elle peut être fournie, par exemple, par des super-condensateurs. On voit tout de suite qu'à bord de ces vecteurs, on distingue très facilement l'énergie permanente, l'énergie transitoire et l'énergie impulsionnelle.

On pourrait faire de même avec les avions où nous avons l'énergie de bord, toujours un alternateur mais à présent entraîné directement par la turbine auquel on ajoute dans ces conditions une électronique de pilotage et de commande pour avoir des fréquences constantes; une énergie auxiliaire: pourquoi pas comme le propose Airbus un A.P.U à pile à combustible ?? Quant à l'énergie pour les actionneurs (de gouverne ou autres), c'est encore une fois la possibilité d'utiliser des super-condensateurs

A partir de ces réflexions, il apparaît indispensable de répertorier les sources d'énergie disponibles ou en développement.

Cette analyse a été faite par un certain nombre de groupements. En particulier, je tiens à remercier les membres de celui du Conseil scientifique de la défense qui a établi effectivement quels étaient les différents types d'énergies dont on pouvait disposer. A partir de cette liste il était nécessaire de faire cette fameuse répartition des « 3 E ». Réacteurs ou sources nucléaires, vous avez gagné, c'est de l'énergie permanente; pile à combustible c'est de l'énergie permanente ou de l'énergie transitoire. J'ai dit "ou" car vous savez que l'Allemagne vient de construire son 3ème sous-marin équipé de piles à combustible. Moteur thermique + alternateur : énergie permanente, de temps en temps des énergies transitoires, par exemple pour les hôpitaux de campagne. Piles et accus, énergie transitoire, vous le constatez sur votre voiture. Bobine supraconductrice, c'est soit des SMES et à ce moment là, une énergie transitoire, soit des disques supraconducteurs permettant d'alimenter séquentiellement des systèmes d'armes et à ce moment là, une énergie impulsionnelle. Volant d'inertie : énergie transitoire vous vous en doutez. Supercondensateurs je l'ai dit tout à l'heure, c'est essentiellement de l'énergie impulsionnelle. Thermoélectricité: énergie permanente et MHD ou EHD, énergie également permanente puisque les Japonais ont construit un navire à partir de la MHD.



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



Nous avons fait un petit travail qui permet de recenser quelles sont les énergies les mieux adaptées aux besoins de puissance. Enfin, on voit qu'on ne pouvait pas faire la même chose avec l'énergie transitoire et l'énergie impulsionnelle qui dépendent du temps de fonctionnement (décharge). Nous avons à ce moment là établi un nouveau diagramme de Ragone qui met en exergue l'intérêt de la puissance en fonction de l'énergie, mais pour des temps nettement supérieurs à ce que l'on a habituellement

Alors, tout ceci nous amène à quoi ? A dire qu'à l'heure actuelle vous voyez la nécessité d'étudier pour tout vecteur le besoin en puissance et en temps de fonctionnement, donc en puissance et en énergie : c'est la théorie des « 3 E ». Cette théorie des 3 E : énergie permanente, énergie transitoire, énergie impulsionnelle doit conduire à sélectionner les sources d'énergies disponibles comme je vous l'ai fait à l'instant en fonction du besoin spécifique de l'organe à alimenter. Mais l'élément important, le mot clé, le mot maître de tout cela, c'est **GERER** l'énergie. Le seul moyen de gérer cette énergie d'une façon convenable, c'est d'utiliser de bons systèmes en électronique de puissance.

Mesdames, Messieurs, je vous remercie de votre attention.